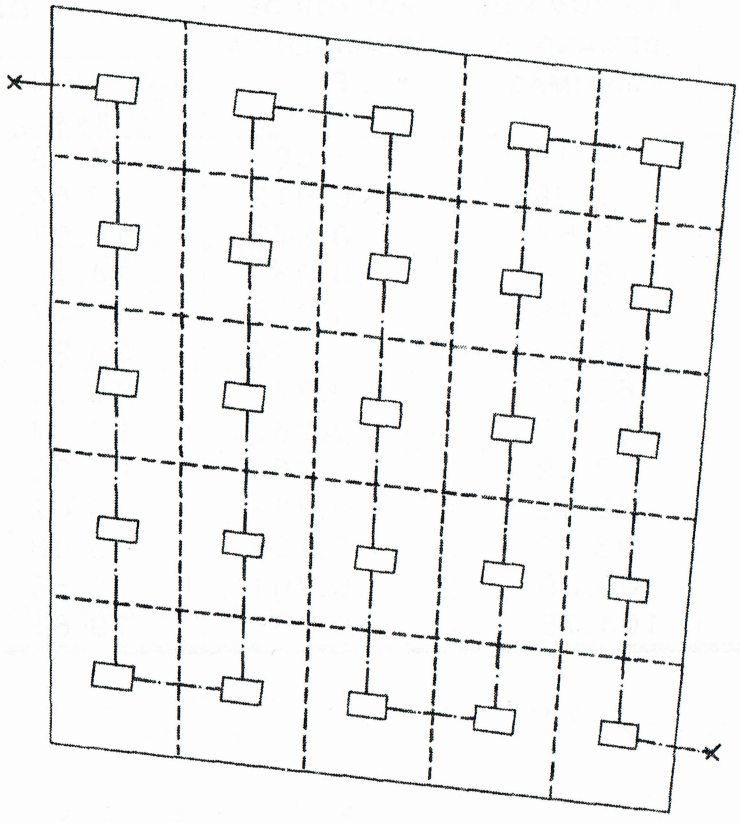
Se podrían considerar 25 para absorber futuras zonas comerciale
considerando que la superficie tiene 1.3 km^2, dividiendo esta ár
entre 25 partes aproximadamente iguales, se tiene:

$$\frac{1300{,}000m^2}{25} = 52{,}000m^2$$

y se deben localizar la más cerca posible del centro geométrico.



SUBESTACIÓN PARA CARGA DISTRIBUIDA
CABLE DE 23 kV
LÍMITE ENTRE SUBESTACIONES
ACOMETIDA AÉREA

ZONA DE INFLUENCIA DE LAS SUBESTACIONES

6

EL CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

Aún cuando actualmente prácticamente todos los cálculos eléctricos para las redes de distribución se hacen apoyándose en programas de cálculo digital, de los cuales existen distintas versiones para facilitar estudios relacionados con selección de conductores, caída de voltaje, pérdidas, regulación de voltaje, aplicación de capacitores, etc.. Tanto en redes aéreas como en redes subterráneas, es necesario tener un claro conocimiento de los conceptos básicos en los cuales se apoya el cálculo eléctrico de las redes de distribución.

Conviene recordar que el cálculo eléctrico de las redes de distribución está apoyado en los conceptos y métodos tradicionales, establecidos en libros de texto y normas de las empresas eléctricas, pero que tratan principalmente los siguientes aspectos fundamentales.

a) Caída de tensión.

b) Calentamiento de los conductores por efecto joule.

c) Posibilidad de sobrecarga en las líneas.

d) Sección mínima admisible en las líneas, en función a las exigencias de robustez mecánica.

e) Diámetro mínimo admisible para los conductores de media tensión en redes subterráneas.

f) Diámetro mínimo admisible en los conductores sujetos a las solicitaciones por cortocircuito.

6.2 EL CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN POR LOS MÉTODOS TRADICIONALES

El cálculo manual de la caída de tensión en las redes de distribuc está subdividido por lo general en dos partes:

- El cálculo preliminar.
- El cálculo de verificación.

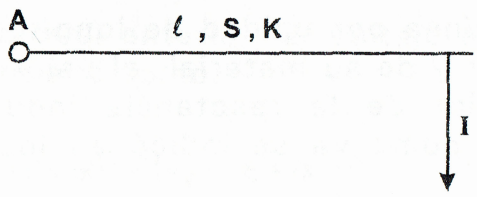
En el ***cálculo preliminar*** se parte del valor de las cargas en potenci factor de potencia y del punto de alimentación a un volt determinado, y a partir de esto, si se conoce el calibre o sección conductor del alimentador, se evalúa la caída de tensión, como pu de partida para otros cálculos.

Con el ***cálculo de verificación***, a partir de la sección de conductores y de las corrientes que circulan por cada tramo, puede calcular la caída de tensión efectiva en cada punto de la donde se tengan cargas conectadas, presentándose varios ca simples de alimentadores radiales.

6.2.1 ALIMENTACIÓN A UNA CARGA

Para los alimentadores de distribución, sean aéreos o cab subterráneos, sólo se considera para su cálculo el elemento serie, decir, una resistencia en serie con una reactancia inductiva para longitudes que se usan y para el tipo de carga que alimentan factores de potencia elevados, y aún cuando son alimentado trifásicos, se usa una representación de fase a neutro, suponie alimentación de cargas balanceadas.

En la siguiente figura, se muestra la representación para es circuitos elementales, en donde se indica con **S** la sección conductor empleado, con ℓ la longitud de la línea y con **K** conductividad del material.



El valor de la conductividad se puede tomar como:

Para el cobre $K = 50 - 55 \ \frac{Siemens - m}{mm^2}$

Para el aluminio $K = 28 - 29 \ \frac{Siemens - m}{mm^2}$

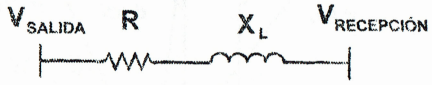
Para la representación del circuito serie elemental, formado por una resistencia $R = r\ell\ (\Omega)$

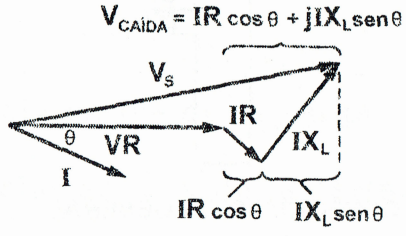
Donde:

ℓ = longitud de la línea, r = resistencia por unidad de kilómetro (ohms/km) y también una reactancia inductiva en serie) $X_L = X \cdot \ell(\Omega)$.

Siendo:

X = reactancia inductiva por unidad de longitud, para una carga con factor de potencia (cosθ) atrasado, tiene una representación fasorial como la mostrada.





La resistencia de la línea por unidad de longitud depende del áre sección del conductor y de su material, el valor se obtiene de tab En tanto que el valor de la reactancia inductiva por unidad longitud, se calcula, como ya se indicó en los capítulos anteri como:

$$X_L = 0.1736 \log \frac{DMG}{R} \ (\Omega / Km)$$

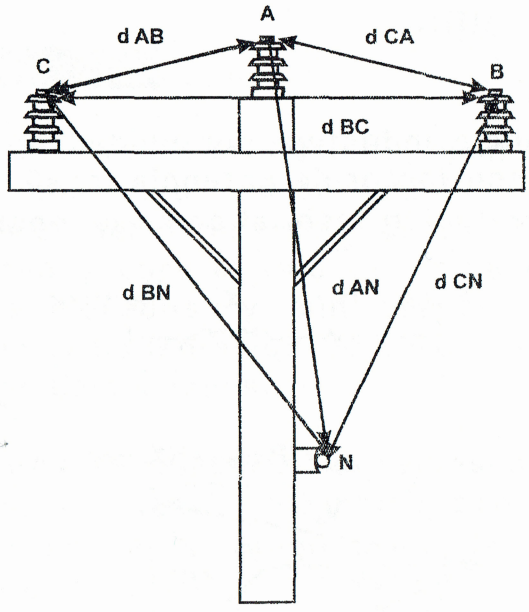
Donde:

DMG = Distancia media geométrica.

R = Radio del conductor.

Para una conformación general de los conductores c la mostrada en la figura, la distancia media geométrica obtiene con la expresión:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA}}$$



CONFORMACIÓN GENERAL

Para el diagrama vectorial anterior, el voltaje de salida o al principio del alimentador se obtiene como:

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos\theta + IR)^2 + (V_R \, sen\theta + IX_L)^2}$$

Donde la caída de tensión es:

$$\Delta V = IR\cos\theta + IX_L \, sen\,\theta$$

$$\Delta V = I(R\cos\theta + X_L \, sen\theta)$$

$$\Delta V = V_S - V_R$$

La caída de voltaje se puede expresar también como la regulación de tensión como:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} x\,100$$

Para una línea trifásica:

$$(\Delta V)\% = \frac{100(V_S - V_R)}{V_R} = \frac{100(RI\cos\theta + X_L I \, sen\theta)}{V_R}$$

$$= \frac{100(3V_R . RI\cos\theta + 3V_R \, X_L I \, sen\theta)}{3V_R V_S}$$

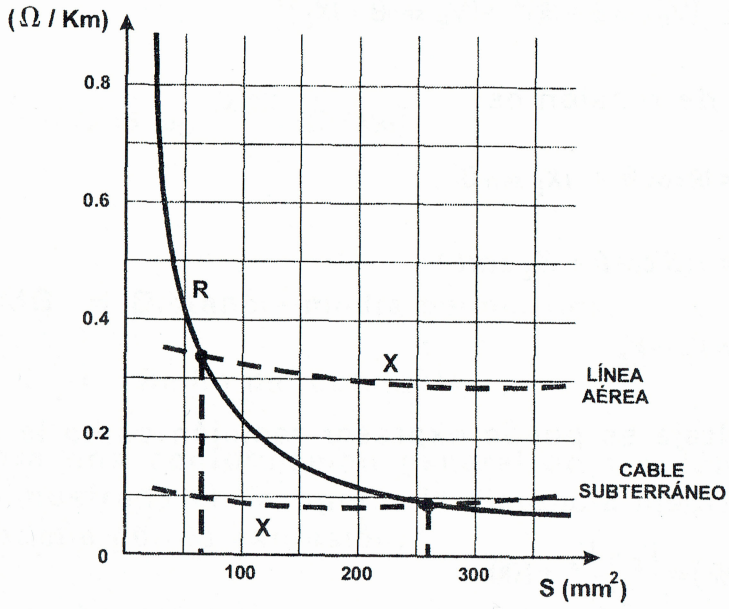
$$(\Delta V)\% \cong 100\frac{PR + \theta X_L}{V_R^2}$$

Siendo:

P = Potencia activa de la carga.

θ = Potencia reactiva de la carta.

Los valores de R y X_L varían, dependiendo de si se trata de líne aéreas o subterráneas, un ejemplo de esto se da en la siguien figura:



RELACIÓN ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA Y REACTANCIA PARA LÍNEA AÉREA Y CABLE SUBTERRANEO EN 15 kV

De la expresión para la caída de tensión:

$$\Delta V = RI\cos\theta + X_L\ I\,sen\theta$$

Si se supone que cos θ = 1.0, θ = $\cos^{-1}$, 1.0 = 0°

$sen\ \theta = 0$, se tiene entonces:

$$\Delta V = RI$$

Se puede escribir también en la forma:

$$\Delta V = \frac{\ell}{K.S} \cdot I$$

Si se trata de una línea monofásica, se puede escribir como:

$$\Delta V = \frac{2\ell}{K.S} I$$

La sección del conductor se puede calcular entonces en la forma siguiente, a partir del conocimiento de un valor de caída de tensión establecido.

Para líneas trifásicas: $S = \frac{\ell I}{K\Delta V}$

Para líneas monofásicas: $S = \frac{2\ell I}{K\Delta V}$

Al producto ℓI se le conoce, por analogía con los cálculos mecánicos, como el **momento eléctrico** o momento de la corriente con respecto al punto de alimentación A y se expresa como $M_{(A)}$, de modo que la fórmula para el cálculo preliminar se puede rescribir como:

$$S = \frac{M_{(A)}}{K\Delta V}$$

Para el caso de las líneas trifásicas: $M_{(A)} = \ell I$

Para las líneas monofásicas: $M_{(A)} = 2\ell I$

Cuando se trata en la práctica de aplicar diseños normalizados en cuanto a tipo de estructura y material y calibre de conductor, el valor de la caída de voltaje en las líneas primarias se puede obtener aplicando tablas de valores precalculados, en donde se **multiplica la caída de tensión** que corresponde al calibre y material del conductor por la corriente de fase y por la longitud en kilómetros.

El valor de la caída de tensión se mide entre fases.

- El conductor AAC se considera similar al ACSR en este parámetro.

CAÍDA DE VOLTAJE POR AMPERE POR KILÓMETRO							
CONDUCTOR		FACTOR DE POTENCIA EN %					
CALIBRE AWG O KCM	MATERIAL	75	80	85	90	95	100
6	Cobre	2.332	2.396	2.453	2.489	2.491	2.336
4	"	1.668	1.690	1.704	1.701	1.664	1.474
2	"	1.246	1.246	1.233	1.209	1.152	0.946
1/0	"	0.964	0.946	0.920	0.881	0.808	0.595
3/0	"	0.778	0.753	0.718	0.668	0.590	0.375
2	Acsr	1.682	1.709	1.727	1.728	1.694	1.512
1/0	"	1.247	1.247	1.237	1.213	1.154	0.953
3/0	"	0.962	0.946	0.922	0.882	0.811	0.600
266.4	"	0.740	0.718	0.687	0.644	0.573	0.375
336.8	"	0.673	0.647	0.614	0.567	0.493	0.297

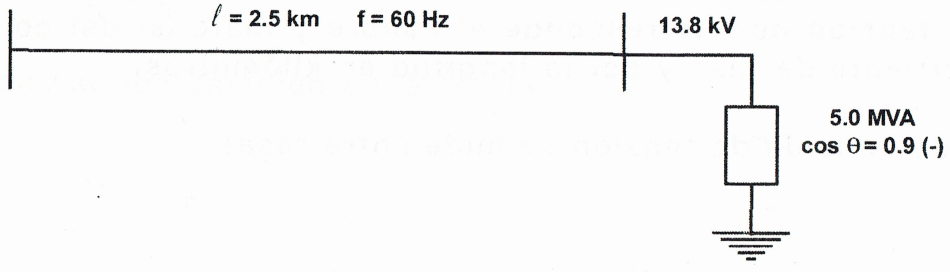
- Datos calculados en Base a 25 °C y distancia media geométrica de 1.38 m. Frecuencia de 60 Hz.

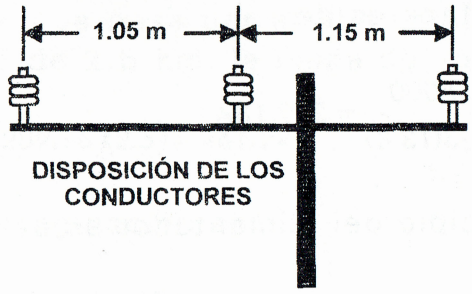
Ejemplo

Calcular el voltaje al principio del alimentador, la caída de voltaje, la regulación de voltaje, las pérdidas y la eficiencia, si alimenta a una carga de 5MVA, 13.8 kV, cos θ = 0.9(-) y tiene un conductor del No. 3/0 AWG ACSR.

a) Usar el método convencional.

b) El método de la tabla de caída de voltaje por ampere/Km, la longitud del alimentador es de 2.5 km.





a) Para un conductor del No. 3/0 AWG ACSR, se tiene de tabla una resistencia de: $R_{cd20°C} = 0.336\ \Omega/km$

Si se corrige esta resistencia por efecto superficial y por temperatura:

- El factor de corrección por temperatura es de: $FC_T = 1.198$
- El factor de corrección por efecto superficial es de: $FC_S = 1.01$

Entonces:

$$R_{ca75°C} = R_{cd20°C} * FC_T * FC_S = 0.336 * 1.198 * 1.01 = 0.4065\ \Omega/km$$

La inductancia se calcula con la configuración de la figura, y el radio del conductor, que es un dato de tabla, es de: 6.37 mm.

$$DMG = \sqrt[3]{D_{AB} * D_{BC} * D_{CA}} = \sqrt[3]{1.05 * 1.15 * 2.2} = 1.385\ m$$

$$X = 0.1736 * \log\left(\frac{DMG}{r}\right) = 0.1736 * \log\left(\frac{1385}{6.37}\right) = 0.4057\ \ \Omega/km$$

Para una longitud de 2.5 km, la resistencia y la inductancia totales son:

$$R_T = (0.4065)(2.5) = 1.02\ \Omega$$

$$X_L = (0.4057)(2.5) = 1.01\ \Omega$$

La corriente por fase es de:

$$I = \frac{kVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{5000}{\sqrt{3}(13.8)} = 209.18A$$

El voltaje al principio del alimentador se calcula con la siguie fórmula:

$$V_p = \sqrt{(V_r \cos\theta + RI)^2 + (V_r sen\theta + XI)^2} \quad donde: \quad V_r = \frac{V_f}{\sqrt{3}} = \frac{13.8kV}{\sqrt{3}} = 796$$

Si cos $\theta = 0.9$; entonces: $\theta = a\cos(0.9) = 25.84°$ y sen $\theta = 0.43$

$$V_p = \sqrt{(7967(0.9) + 1.02(209.18))^2 + (7967(0.436) + 1.01(209.18))^2} = 82$$

El porciento de regulación se obtiene:

$$\%Reg = \frac{V_p - V_r}{V_r} * 100 = \frac{8252 - 7967}{7967} * 100 = 3.58\%$$

Las pérdidas monofásicas son RI^2, pero como son tres fas entonces:

$$Pérdidas = 3RI^2 = 3(1.02)(209.18)^2 = 133894W$$

La eficiencia de la transferencia de potencia en el alimenta es de:

$$\%\eta = \frac{Pentrada - Pérdidas}{Pentrada} * 100 = \frac{4500000 - 133894}{4500000} * 100 = 97\%$$

b) Usando el método de la tabla, se obtiene lo siguiente:

En la tabla de caída de voltaje/ampere km, se encuentra que p el conductor No. 3/0 AWG ACSR y para un factor de potencia 90%, hay una caída de voltaje de: 0.882 V/Akm, por lo tan

como la corriente que pasa por el alimentador es de: 209.18 A y para una longitud de 2.5 km, la caída de voltaje total es de:

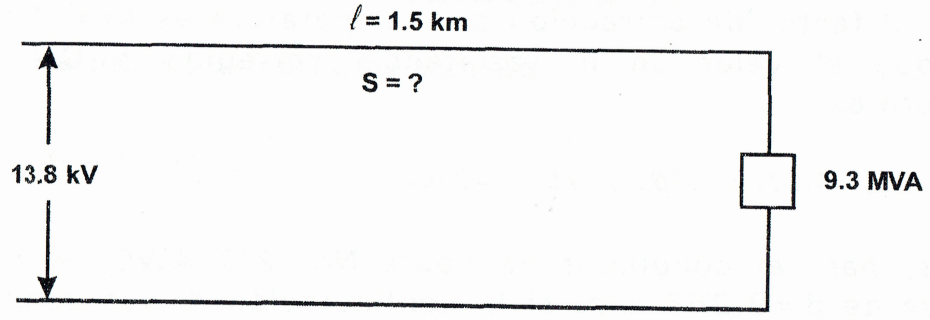
$$\Delta V = 0.882(209.18)(2.5) = 461.24V$$

y el porciento de regulación es:

$$\%Reg = \frac{\Delta V}{V_r} x100 = \frac{461.24}{7967} x100 = 5.8\%$$

Ejemplo

Se desea alimentar en 13.8 kV con un alimentador monofásico una carga de 9.3 MVA a una distancia de 1.5 Km, usando conductor de cobre, se desea calcular la sección mínima del conductor, de manera que la caída de voltaje no exceda al 5% y el factor de potencia de la carga se supone unitario.



Solución

Considerando que el factor de potencia es la unidad, la sección del conductor se obtiene con la expresión:

$$S = \frac{2\ell I}{K\Delta V}$$

Como el conductor es cobre, se toma: $K = 50 \frac{siemens - m}{mm^2}$